

Problematização de aspectos conceituais, procedimentais e epistemológicos da lei de Arquimedes

EDUCATIO PHYSICORVM



ISSN 1870-9095

Winiston Ransdonner Cruvinel Ribeiro¹, Luanna S. de Pires Campos Alves¹,
Gustavo Quereza de Freitas¹, Tiago Clarimundo Ramos¹,
Ronivan Sousa da Silva Suttini², Salmon Landi Jr.¹

¹Instituto Federal Goiano, Rio Verde, GO, Brasil.

²Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, MS, Brasil.

E-mail: winiston.cruvinel@estudante.ifgoiano.edu.br

(Recibido el 25 de enero de 2025, aceptado el 3 de octubre de 2025)

Resumo

Frente aos desafios e problemas do século XXI, a Educação Científica contemporânea estabelece que os estudantes devam aprender não somente os conhecimentos conceituais e procedimentais nas aulas de Ciências, mas também construir sólidas visões epistemológicas que sejam consistentes com as perspectivas atuais da História, Filosofia e Sociologia da Ciência. Todavia, ainda hoje são frequentes aulas experimentais planejadas para os estudantes seguirem mecanicamente a roteiros dirigidos, que ignoram os conhecimentos prévios, a imaginação, a criatividade, a análise e a visão crítica de ciência. Diante dessa lacuna, este trabalho apresenta a análise acerca das possibilidades de utilização de dois aparatos experimentais referentes à lei de Arquimedes, sendo um inovador e outro relativamente conhecido na literatura em ensino de Ciências, elaborados com materiais de fácil acesso, que favorecem discussões e reflexões explícitas de aspectos conceituais, procedimentais e epistemológicos envolvidos em uma investigação científica.

Palabras clave: Aparatos Experimentais, Empuxo, Arquimedes, Ciência.

Abstract

Facing the challenges and problems of the 21st century, contemporary Science Education establishes that students should not only learn conceptual and procedural knowledge in Science classes but also build solid epistemological visions that are consistent with current perspectives in History, Philosophy, and Sociology of Science. However, even today, experimental classes planned for students to follow mechanically to guided scripts, which ignore previous knowledge, imagination, creativity, analysis, and critical view of science, are still common. Given this gap, this work presents an analysis of the possibilities of using two experimental devices concerning Archimedes' law, one being innovative and the other relatively well-known in the literature on science teaching, prepared with easily accessible materials. Which favor discussions and explicit reflections of conceptual, procedural and epistemological aspects involved in a scientific investigation.

Keywords: Experimental Apparatus, Buoyancy, Archimedes, Science.

I. INTRODUÇÃO

Gaston Bachelard (1884–1962) [1], em seu livro “A Formação do Espírito Científico”, publicado em 1938, adverte que muitas vezes os professores ignoram os conhecimentos de e sobre a Ciência já consolidados pelos estudantes anteriormente às suas aulas, argumentando que uma aula prática não se trata, na verdade, dos estudantes adquirirem uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental e de superar obstáculos epistemológicos já enraizados pela vida cotidiana. Utilizando a lei de Arquimedes como exemplo, o referido autor afirmou que

[...] o equilíbrio dos corpos flutuantes é objeto de uma intuição habitual que é um amontoado de erros. De modo mais ou menos claro, atribui-se uma atividade ao corpo que flutua, ou, melhor, ao corpo que nada. Se tentarmos com a mão afundar um pedaço de pau na água, ele resiste. Não é costume

atribuir-se essa resistência à água. Assim, é difícil explicar o princípio de Arquimedes, de tão grande simplicidade matemática, se antes não for criticado e desfeito o impuro complexo de intuições primeiras. Em particular, sem essa psicanálise dos erros iniciais, não se conseguirá explicar que o corpo que emerge e o corpo completamente imerso obedecem à mesma lei ([1], 1996, p. 23).

Hoje, quase 80 anos depois, frente aos desafios e problemas do século XXI, a Educação Científica contemporânea corrobora as ideias de Gaston Bachelard e advoga em prol de uma formação crítica para o exercício da cidadania plena, na qual o letramento científico torna-se componente indispensável [2]. Para além do esforço em desenvolver habilidades e competências, o conceito de “letramento científico” pressupõe-se que os estudantes necessitam aprender não somente os conhecimentos conceituais e procedimentais nas aulas de disciplinas científicas (Física, Química e Biologia), mas também construir sólidas visões

epistemológicas que sejam consistentes com as perspectivas atuais da História, Filosofia e Sociologia da Ciência. Trata-se de colocar em prática um novo papel para os professores de Física, sobretudo no sentido de propiciar momentos de discussão e reflexão, de forma explícita e integrada com conteúdo conceitual, sobre aspectos da chamada “Natureza da Ciência” (NdC) [3].

Outrossim, há na literatura diversos estudos com relevantes contribuições de múltiplas abordagens e estratégias de ensino para a inserção de aspectos da NdC no ensino de Ciências, quer sejam em controvérsias sociocientíficas, episódios históricos [4, 5, 6, 7, 8, 9]; temas contemporâneos [10, 11, 12]; júri simulado [13]; leitura de fontes primárias [14, 15]; textos jornalísticos [16]; e de divulgação científica [17]; análises de vídeos (filmes e documentários) [18]; e jogos didáticos [19].

São poucos, porém, os trabalhos que têm considerado o uso de aulas experimentais para o desenvolvimento de visões epistemológicas mais bem-informadas sobre o processo de construção do conhecimento científico [20, 21]. Com efeito, não raramente, as propostas de abordagens experimentais têm como objetivo educacional unicamente a aprendizagem conceitual e/ou procedimental, prevalecendo concepções pedagógicas de planejamento nas quais os estudantes necessitam seguir roteiros excessivamente dirigidos [22, 23].

Tais concepções pedagógicas implicam em três prejuízos imediatos ao processo de ensino e aprendizagem. Em primeiro lugar, levam os professores a ignorarem os conhecimentos prévios, a imaginação, a criatividade, a capacidade de análise crítica de informações dos estudantes. Em segundo lugar, ao desconsiderar ou “se esquecer” de seu potencial para o favorecimento de discussões e reflexões epistemológicas, não problematizam a recorrente e ingênua visão empírico-indutivista dos estudantes sobre as práticas científicas. E por último, não despertam os professores para tomadas de consciência sobre a necessidade de engajamento com outras práticas problematizadoras, que corroborem com a desconstrução dessa visão empírico-indutivista sobre os métodos, processos e produtos da Ciência.

É nesta perspectiva e a partir dessas considerações que se apresenta este trabalho com o objetivo de analisar as possibilidades de utilização de dois aparatos experimentais referentes à lei de Arquimedes, sendo um inovador e outro relativamente conhecido na literatura em ensino de Ciências, elaborados com materiais de fácil acesso, que favorecem discussões e reflexões explícitas sobre aspectos conceituais, procedimentais e epistemológicos envolvidos em uma investigação científica.

II. A LEI DE ARQUIMEDES

Brincadeiras em águas calmas, como em lagos ou piscinas, exemplificam o quanto é mais leve segurar uma pessoa, mesmo que apenas parcialmente mergulhada, do que se a tentativa for feita fora da água. Estas simples experiências, contudo, podem ser úteis para o professor introduzir uma discussão com os estudantes a fim de problematizar, em contextos próximos de suas vivências, a existência de uma

força, supostamente na vertical para cima, exercida pela água sobre o corpo que nela submerge. É pertinente destacar que esta força, denominada por força de empuxo (ou simplesmente empuxo), é responsável pela sustentação de embarcações [24], pela ascensão dos balões de ar quente [25], além de influenciar o movimento vertical de peixes, principalmente daqueles que possuem uma estrutura designada bexiga natatória – órgão que atua como regulador da flutuação do peixe [26].

Ao contrário dos peixes que conseguem controlar a sua flutuabilidade mediante a captação/liberação de gases dissolvidos na água, os golfinhos, por sua vez, necessitam armazenar em seus pulmões o ar extraído da atmosfera. Este fato provoca um aumento da força de empuxo sobre o golfinho em decorrência do aumento de seu volume, conforme discutido a seguir, e consequentemente dificuldade para caçar, já que o seu alimento pode estar localizado em águas profundas, por exemplo, a 300 m abaixo da superfície da água. Nestes casos, uma redução do volume de sua caixa torácica, que resulta numa redução da força de empuxo, é responsável por facilitar o movimento de descida destes animais, tão importante durante a procura por refeição [27].

Com o intuito de promover o trabalho em equipe e o protagonismo dos estudantes em sua jornada de aprendizagem, professores de uma escola organizaram uma competição envolvendo a construção de barcos feitos com papelão, que deveriam suportar dois estudantes, para a problematização do ensino sobre o empuxo [28]. Após a construção, executada exclusivamente pelos estudantes, a corrida de barcos foi realizada numa piscina e a classificação final levou em consideração não apenas a ordem de chegada dos participantes, mas também o conhecimento dos cálculos envolvendo a profundidade máxima que o barco afunda com a respectiva dupla dentro do barco e o peso máximo que o barco é capaz de suportar, bem como a animação da dupla e até mesmo a decoração dos barcos. Os resultados corroboram com diversos trabalhos que apontam que os estudantes são motivados a aprender quando são desafiados a resolverem problemas práticos e, sobretudo, quando são envolvidos ativamente no processo de ensino-aprendizagem [29, 30].

Uma discussão potencialmente instigante também relacionada com embarcações é realizada por Dishaw [31]. O autor utiliza como exemplo os navios de guerra, em especial o encouraçado Arizona, para explicar como a força de empuxo da água do mar equilibra o peso da embarcação. Além disso, a partir de um modelo geométrico simplificado para o casco, um prisma triangular, o referido autor demonstra que os navios desta magnitude precisam de um porto de águas profundas para atracar.

Admitindo-se que a pressão hidrostática exercida por um fluido de densidade constante d_f aumenta linearmente com a profundidade, resultado conhecido como lei de Stevin, pode-se demonstrar a seguinte expressão para o módulo da força de empuxo (F_E) sobre o objeto colocado nesse fluido:

$$F_E = d_f \cdot g \cdot V_s, \quad (1)$$

em que g é o módulo da aceleração gravitacional local e V_s o volume do objeto (também denominado de volume de fluido

deslocado) que está submerso. Os detalhes da derivação deste resultado podem ser consultados, por exemplo, em [32].

A equação (1), frequentemente designada por princípio [33, 34, 35] ou lei [35] de Arquimedes, também pode ser obtida a partir de considerações a respeito da energia mecânica do sistema [36], bem como por meio do aumento da pressão exercida pelo fluido com imersão do objeto [37] ou ainda usando a ideia dos deslocamentos virtuais [38].

III. PROPOSTAS E APARATOS PRÁTICOS

O primeiro aparato possibilita obter o módulo da força de empuxo em função do volume submerso de um objeto colocado em contato com três diferentes fluidos (água da torneira, água salgada e álcool). Enquanto o segundo permite ao professor demonstrar uma exceção envolvendo o enunciado tradicional da lei de Arquimedes, habitualmente encontrado em livros didáticos de Física: “seu módulo nem sempre é igual ao do peso do volume de fluido deslocado”.

A. Empuxo versus volume submerso

Para o estudo do empuxo em função do volume submerso, confeccionou-se um aparato experimental no formato de um poliedro com cinco faces. Primeiramente, em uma folha de papel milimetrado, desenhou-se um quadrado de lado 7,00 cm e em cada lado retângulos de 7,00 cm x 5,00 cm, como demonstra a Figura 1a. Entre os retângulos foram adicionadas bordas, região pontilhada na Figura 1a, para facilitar a colagem dos retângulos. Em seguida, o papel milimetrado foi plastificado com papel contact transparente, cortado e dobrado de maneira que as bordas dos retângulos contíguos pudessem ser unidas com fita adesiva, formando uma caixinha de papel. Esta, por sua vez, se manteve estável e resistente mediante a fixação de uma caixinha de acrílico com dimensões 6,50 cm x 6,50 cm x 4,00 cm e massa igual a 31,22 g em seu interior (Figura 1b).

O conjunto apresentado na Figura 1b, denominado “barquinho”, ao flutuar em um fluido de interesse, permite a leitura do volume submerso quando uma carga é introduzida em seu interior. A critério do professor, a caixinha de acrílico pode ser substituída por uma embalagem de leite condensado ou creme de leite, por exemplo.

Posteriormente, inseriu-se o barquinho em um recipiente contendo determinados fluidos (água de torneira, água salgada, ou álcool 90%), a fim de proceder com as experiências: flutuação do barquinho com carga variável em seu interior. Antes, porém, posicionou-se duas moedas no interior da caixa de acrílico com o intuito de contribuir para estabilidade do barquinho. Com o auxílio de uma seringa de 10 mL, adicionou-se diferentes quantidades de água no interior do barquinho e mediu-se o respectivo valor da profundidade submersa com o papel milimetrado localizado em suas laterais.

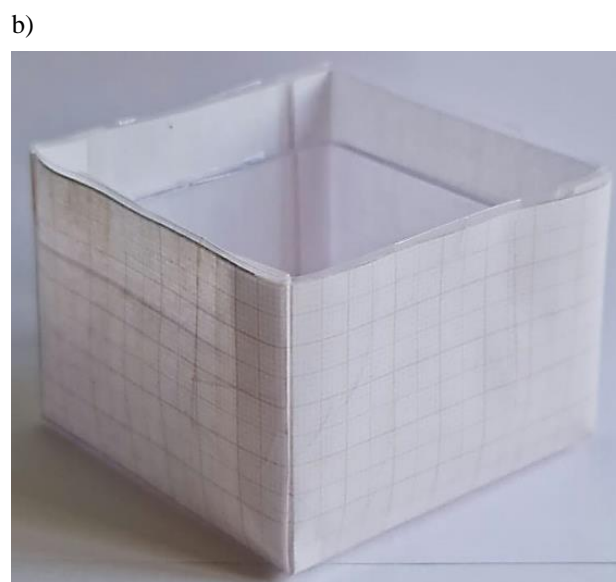
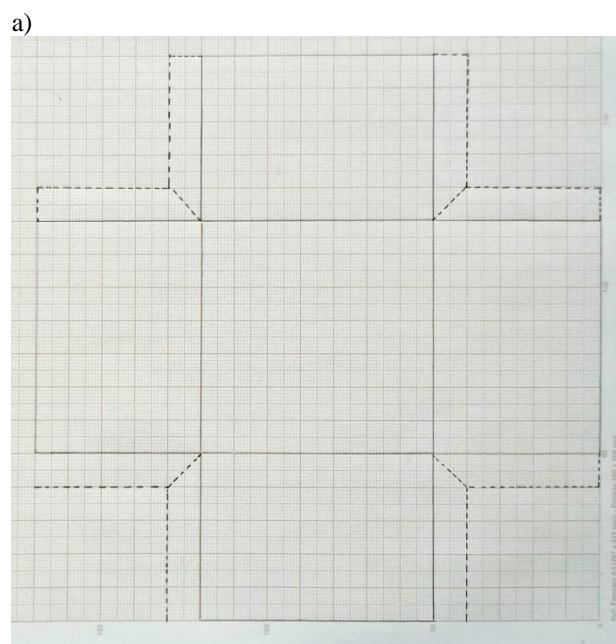


FIGURA 1. a) Molde desenhado em papel milimetrado, b) dispositivo construído para o estudo da intensidade da força de empuxo em função do volume submerso. O papel milimetrado permite obter o volume submerso com boa precisão, já a caixa de acrílico contribui para a estabilidade do sistema.

B. Módulo do empuxo versus peso do fluido deslocado

A partir de materiais de muito fácil acesso, propôs-se uma atividade para demonstrar que o enunciado tradicional da lei de Arquimedes, comumente encontrado em livros-texto de Física: “todo corpo mergulhado num fluido sofre uma força vertical para cima cujo módulo corresponde ao peso do fluido por ele deslocado”, não é válido em todas as circunstâncias. Para este propósito, utilizou-se uma seringa (20 mL), uma garrafa de água mineral vazia (500 mL e diâmetro em torno

de 6,5 cm) e uma embalagem de detergente vazia (500 mL e diâmetro em torno de 6,0 cm).

Inicialmente, cortou-se, perpendicularmente ao seu eixo de simetria, ambas embalagens mencionadas de forma que a distância entre a base de cada uma e o corte foi de 10,5 cm para a garrafa de água (Fig. 2a) e 11,5 cm para a embalagem de detergente (Fig 2b). Com um “copo” dentro do outro, adicionou-se 100 mL de água dentro do “copo” proveniente da embalagem de detergente. Posteriormente, adicionou-se cuidadosamente água dentro do “copo” externo até perceber a flutuação do “copo” interno.

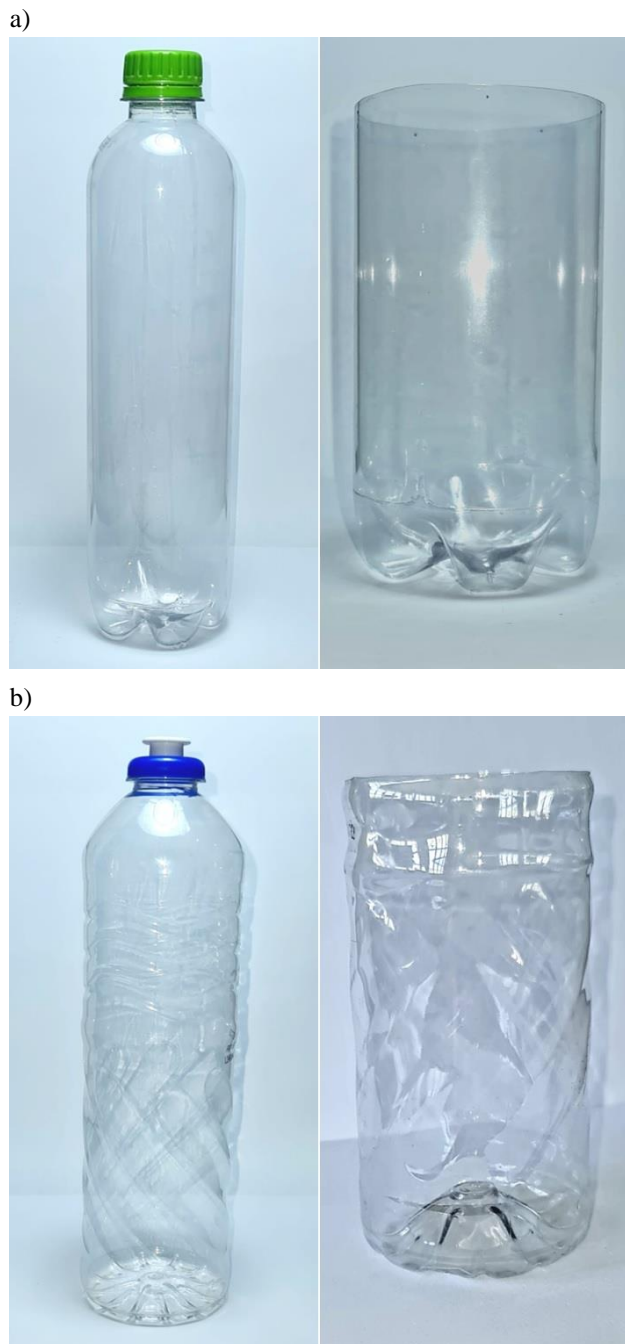


FIGURA 2. a) Garrafa de água mineral (500 mL e 6,5 cm de diâmetro) cortada a uma altura de 10,5 cm da base, b) embalagem de detergente (500 mL e 6,0 cm de diâmetro) cortada a uma altura de 11,5 cm da base.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Densidade dos fluidos

Os resultados das experiências envolvendo a adição de diferentes quantidades de água no interior do barquinho permitem a construção de um gráfico com os valores do módulo da força de empuxo (que corresponde ao módulo do peso do barquinho, das moedas e da água em seu interior) em função do volume submerso (área da base vezes a profundidade submersa). Nestas experiências, admitiu-se que cada 1 mL de água vertida para o interior da caixa de acrílico possui exatamente 1 g, o que corresponde a uma diferença percentual em relação ao valor aceito (0,998 g) de, aproximadamente, 0,2%.

Logo, à luz da equação (1), que afirma que o módulo do empuxo é proporcional ao volume submerso, procedeu-se com um ajuste linear dos dados experimentais, isto é, F_E versus $g \cdot V_s$, utilizando o software Origin (Figura 3). Ou seja, adotou-se como eixo das abscissas os valores do volume submerso multiplicado pelo módulo da aceleração gravitacional. Desta forma, o coeficiente angular da reta de ajuste corresponde à densidade do fluido sobre o qual flutua o barquinho. Os valores obtidos estão apresentados na primeira coluna da Tabela 1.

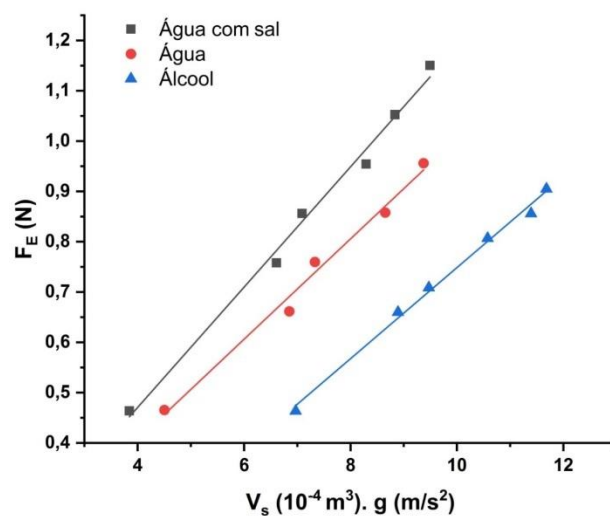


FIGURA 3. Módulo da força de empuxo em função do volume submerso vezes 9,81 m/s² para diferentes fluidos (água de torneira com sal de cozinha, água de torneira e álcool 90%).

Para efeitos de comparação, obteve-se a densidade dos fluidos por meio de ajustes lineares a partir de um gráfico envolvendo a massa e o volume de cada fluido. Nestes ensaios, utilizou-se uma balança com precisão de quatro casas decimais, um béquer de 30 mL e uma seringa de 5 mL. Com o auxílio da seringa, adicionou-se 10 medidas de 5 mL de cada fluido no béquer, anotando-se as suas respectivas massas (Figura 4). De posse dos valores obtidos e do conceito de densidade, utilizou-se novamente o software Origin para efeitos de obtenção da densidade dos fluidos por meio de ajustes lineares. Os valores obtidos por este procedimento estão apresentados na segunda coluna da Tabela 1.

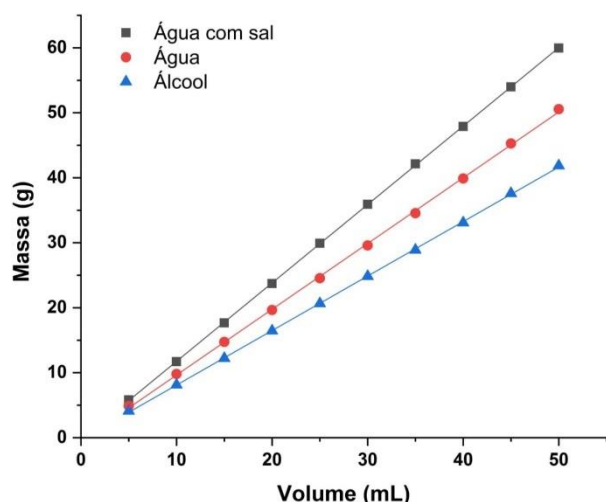


FIGURA 4. Massa em função do volume para os diferentes líquidos utilizados neste estudo.

TABELA I. Valores da densidade dos diferentes fluidos a 20 °C.

Fluido	Densidade ^a (kg/L)	Densidade ^b (kg/L)	Densidade ^c (kg/L)
Água com sal	1,196 ± 0,021	1,207 ± 0,002	1,205 [40]
Água de torneira	0,998 ± 0,006	1,012 ± 0,006	0,998 [40]
Álcool 90%	0,900 ± 0,003	0,839 ± 0,003	0,789 [40]

^a Determinada a partir do coeficiente angular da reta de ajuste considerando os dados apresentados na Figura 3.

^b Determinada a partir do coeficiente angular da reta de ajuste considerando os dados apresentados na Figura 4.

^c Valores obtidos na literatura.

[...] está longe de ser óbvio, de um ponto de vista lógico, haver justificativa no inferir enunciados universais de enunciados singulares, independentemente de quão numerosos sejam estes; com efeito, qualquer conclusão colhida desse modo sempre pode revelar-se falsa; independentemente de quantos cisnes brancos possamos observar, isso não justifica a conclusão de que todos os cisnes são brancos [41].

Nesse cenário, os professores podem problematizar, por exemplo, o “mito do método científico universal” frequentemente divulgado em muitos livros didáticos. Este mito reforça uma concepção inadequada e empírico-indutivista sobre a NdC, pressupondo equivocadamente que as investigações científicas se originam a partir de uma surpreendente – algumas vezes acidental – “observação” sobre algum fenômeno do mundo natural.

Recentemente, Hidalgo, Queiroz e Oliveira [42] analisaram o episódio histórico envolvendo o conteúdo da lei de Arquimedes nos livros didáticos de Física do Plano Nacional do Livro Didático [42]. Segundo as conclusões dos autores, a recorrente visão empírico-indutivista sobre esse

De um modo geral, os valores apresentados na Tabela 1 sugerem que o aparato construído pode ser útil para que o professor proponha atividades experimentais de baixo custo que permitem uma análise quantitativa do problema. Vários barquinhos, conforme a Figura 1, foram construídos e utilizados, no Brasil, em turmas de Engenharia Civil e Engenharia Química do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. Em todos os casos, o erro relativo percentual obtido foi inferior a 5%.

A Figura 3 possibilita observar que para cada fluido obteve-se pontos experimentais aproximadamente alinhados, conforme a equação (1). É fato que o pesquisador pode realizar medições acuradas em situações envolvendo diferentes fluidos e objetos nele submersos. Contudo, as conclusões obtidas de casos particulares não têm a capacidade de conduzi-lo à “descoberta” da equação que quantificaria o empuxo [39]. Ou seja, a equação (1), como qualquer outro caso geral, não deve ser apresentada aos aprendizes como algo que decorre de um modo imediato da evidência experimental, mas que – após a sua proposição – demanda sempre uma atitude de submissão à prova.

assunto já há muito tempo evidenciada na literatura em ensino de Ciências, retratada por pseudo-histórias e narrativas descontextualizadas e inadequadas como a “descoberta do empuxo”, ainda são frequentes nos atuais livros didáticos. Dentre os 12 livros analisados, há somente dois exemplos de transposição didática coerente com a historiografia moderna da Ciência para o contexto do Ensino Médio, explicitamente apoiados em trabalhos acadêmicos.

B. Volume deslocado x Volume submerso

Acerca das experiências mencionadas na seção IIIB, observou-se que um volume de, aproximadamente, 48 mL de água foi suficiente para promover a flutuação do “copo” com 100 mL de água (Figura 5). O instante no qual o “copo” com 100 mL de água passa a flutuar, tem-se que o módulo do empuxo necessariamente vale um pouco mais do que 100 gf, correspondendo ao valor do peso da água e do “copo” interno.

Por outro lado, de acordo com o enunciado tradicional da lei de Arquimedes, o módulo do empuxo equivale ao módulo do peso de água deslocado. Recorda-se que o volume adicionado de água ao “copo” externo que fez o interno flutuar foi de 48 mL. Assim, de acordo com o referido

enunciado, o valor do empuxo não poderia sequer atingir 48 gf – situação hipotética em que todo o volume de água seria deslocado. Esta atividade experimental demonstra, portanto, que o enunciado tradicional se encontra em pleno desacordo com a situação observada. Ou seja, há casos em que os módulos das forças peso do fluido deslocado e empuxo são notoriamente diferentes.

a)



b)

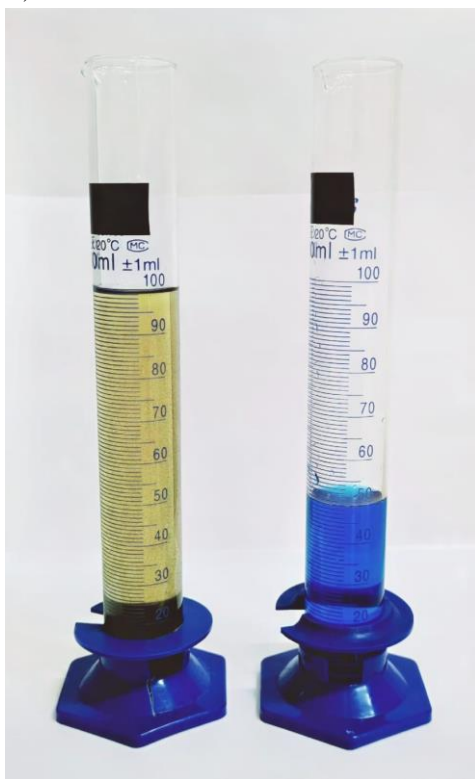


FIGURA 5. a) Embalagem de detergente cortada contendo 100 ml de água flutuando em uma embalagem de água mineral

cortada com 48 ml de água. B) provetas com os volumes de água envolvidos nesta atividade.

A Figura 6 representa a situação inicial de um recipiente contendo um determinado fluido, bem como a sua configuração final quando um determinado corpo flutua em seu interior. Nota-se que as alturas h e H da superfície do líquido contido no recipiente são tomadas em relação a posição final da base do corpo que foi inserido. Neste sentido, a Figura 6 ilustra, portanto, o modelo que será utilizado para analisar o resultado mostrado na Figura 5a. É sabido que a força de empuxo que sustenta o peso do corpo flutuante provém do somatório das forças devido à pressão aplicada pela água e/ou pelo ar em cada ponto da superfície do corpo. Consequentemente, o módulo do empuxo corresponde à diferença de pressão entre a base e o topo do corpo flutuante vezes a área de sua seção reta (a), ou seja,

$$F_E = P_{hid}a, \quad (2)$$

em que $P_{hid} = d_f \cdot g \cdot H$, pela lei de Stevin, é a pressão hidrostática imediatamente abaixo do corpo que flutua. Portanto,

$$V = Ha, \quad (3)$$

é o volume que fornece o valor correto para a força de empuxo capaz de suportar o peso do corpo inserido no fluido.

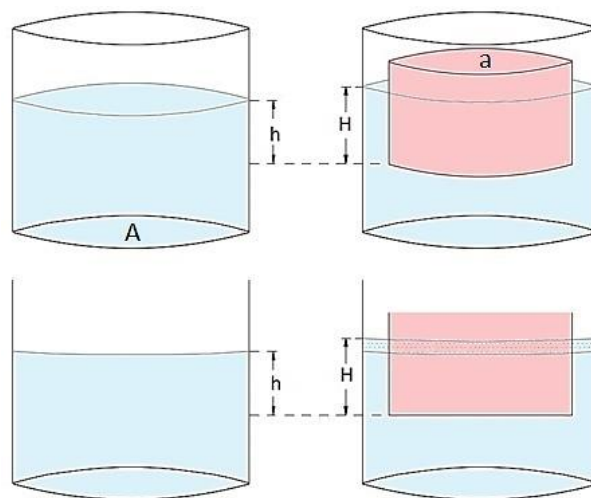


FIGURA 6. Recipiente com um determinado fluido antes (à esquerda) e após (à direita) a inserção de um corpo flutuante. Todos os pontos da base do corpo que flutua estão a uma mesma profundidade H . Nota-se que h e H correspondem, respectivamente, às alturas da superfície do fluido em contato com a atmosfera antes e após a imersão do corpo flutuante, ambas tomadas em relação à posição da base do corpo que flutua.

Por outro lado, o volume de fluido que é efetivamente deslocado (V_d), devido à inserção do corpo flutuante, pode ser determinado pelas seguintes expressões:

$$V_d = ha, \quad (4)$$

$$V_d = (H - h)(A - a), \quad (5)$$

em que A é a área da seção reta do recipiente que contém o fluido. Comparando-se a equação (3) com a (4) e observando-se que $h < H$, conclui-se que a intensidade do peso do volume de fluido deslocado ($d_f gha$), neste caso, não conduz à equação correta para o módulo do empuxo ($d_f gHa$), contrariando o enunciado tradicional da lei de Arquimedes. Além disso, isolando H a partir da equação (3), h a partir da equação (4) e substituindo ambos na equação (5), obtém-se, reorganizando os termos, que

$$V_d = \frac{A - a}{A} V. \quad (6)$$

A equação (6) demonstra que, para o caso investigado, o volume de fluido deslocado corresponde ao volume V apenas quando $A \gg a$, o que significa dizer que, $H \rightarrow h$ e, assim, o módulo do empuxo pode ser calculado a partir do peso do volume deslocado. Isso também ocorre quando o recipiente se encontra completamente cheio, conforme pode ser facilmente demonstrado pelo leitor, seguindo o mesmo raciocínio apresentado anteriormente. Ou seja, o módulo do empuxo equivale ao do peso do fluido deslocado somente quando o nível da superfície livre do fluido não é alterado pela imersão do objeto no fluido. Esta foi exatamente a situação considerada por Arquimedes [43], mas que, evidentemente, não é o caso da experiência apresentada na Figura 5. Neste sentido, espera-se que os estudantes percebam que o enunciado tradicional (sobre o empuxo ter o mesmo valor do peso do fluido deslocado) não é adequado para a situação aqui discutida e que V corresponde, de fato, ao volume submerso do objeto.

Uma vez que a investigação científica é guiada por uma “questão de pesquisa” a ser respondida, com base em um modelo teórico subjacente, os cientistas, inevitavelmente, possuem expectativas quanto à coleta de “dados” e à construção de “evidências” disponíveis. Diante do estabelecimento de uma reconhecida “anomalia”, cada cientista pode tomar uma decisão particular, por exemplo: (i) rejeitá-la e continuar buscando as fontes do erro experimental; (ii) aceitá-la como suficiente para provocar uma mudança (periférica ou central) no modelo teórico; (iii) deixá-la de lado ou em “modo de espera” de alguma explicação ainda com base no modelo teórico vigente.

Aqui, a exceção à lei de Arquimedes se mostra bastante frutífera para contextualizar essa discussão. Ao contrário da imagem inadequada propagada pela visão empírico-indutivista – ou pela visão falsificacionista ingênua – essas diferentes possibilidades de escolhas dos cientistas mostram que um resultado experimental “anômalo” ou inconsistente com o modelo teórico vigente não é suficiente para a refutação deste modelo. Todas as três escolhas elencadas anteriormente são válidas. Ainda de acordo com o Kuhn [44], “essa [liberdade de escolha individual] é talvez a maneira que a comunidade científica encontrou para distribuir os riscos e assegurar o sucesso do seu empreendimento a longo prazo”.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É pertinente reiterar que, no presente trabalho, propôs-se um aparato prático inovador que pode ser confeccionado e experienciado pelos próprios estudantes (do Ensino Médio ou do Superior), e que permitiu determinar a densidade de líquidos (água com sal, água e álcool 90%) em excelente concordância com os valores esperados. Ademais, um segundo aparato, construído com materiais comumente descartados, possibilitou considerar uma exceção envolvendo o enunciado tradicional da lei de Arquimedes. De modo geral, as atividades experimentais propostas possibilitaram avanços para além da aprendizagem dos conceitos de empuxo e densidade e de conhecimentos procedimentais, mormente pelo engajamento dos professores e estudantes com as questões epistemológicas que envolvem a desconstrução da perspectiva indutivista das investigações científicas.

Deseja-se, que as ponderações apresentadas nas análises de dados sirvam para despertar entre aqueles que recorrem ao laboratório didático de Física, um ensino mais conectado à dimensão reflexiva de construção do conhecimento científico. Mesmo porque, conforme apontado pelo professor e pesquisador Marco Antônio Moreira, o conhecimento científico é construído a partir de modelos que buscam idealizar fenômenos de interesse, tais modelos podem “evoluir teórica e matematicamente até chegar a uma teoria, cuja aceitação (que é sempre provisória), refutação (que pode ser definitiva) ou revisão (introdução de modificações para melhorá-la) depende da experimentação” [45].

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as sugestões dos professores Alexandre Divino de Souza e Thiago Milograno de Carvalho do IF Goiano - Campus Morrinhos.

REFERÊNCIAS

- [1] Bachelard, G., *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*, 5º ed. (Rio de Janeiro, 1996).
- [2] Ministério da educação, “Base nacional comum curricular: educação é a base”, Brasil. Acessado: 12 de novembro de 2022. [Online]. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal_site.pdf
- [3] S. F. A. Americans, *A Project 2061 report on literacy goals in science, mathematics, and technology*, vol. 10. Washington: American Association for the Advancement of Science, (1989).
- [4] Arthur, L. H. M. e Terrazzan, E. A., A Natureza da Ciência na escola por meio de um material didático sobre a Gravitação, *Revista Brasileira de Ensino de Física* 40, nº 3, fev. 2018, doi: 10.1590/1806-9126-rbef-2017-0233.
- [5] M. D. Cordeiro e L. O. Q. Peduzzi, “Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de

desenvolvimento da radioatividade”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 33, nº 3, p. 3601–3611, 2011.

[6] B. A. MOURA, “O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência?”, *Revista Brasileira de História da Ciência*, vol. 7, nº 1, p. 32–46, 2014.

[7] R. A. de Oliveira, A. F. P. Martins, e A. P. B. da Silva, “Temas de Natureza da Ciência a partir de episódios históricos: os debates sobre a natureza da luz na primeira metade do século XIX”, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 37, nº 1, p. 197–218, abr. 2020, doi: 10.5007/2175-7941.2020v37n1p197.

[8] D. Ortega e B. A. Moura, “Uma abordagem histórica da reflexão e da refração da luz”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 42, 2020, doi: 10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0114.

[9] E. Sales Teixeira, O. Freire Jr, e C. Niño El-Hani, “A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de física”, *Ciência & Educação*, vol. 15, nº 3, p. 529–556, 2009.

[10] G. F. de C. Catarino e J. C. de O. Reis, “A pesquisa em ensino de ciências e a educação científica em tempos de pandemia: reflexões sobre natureza da ciência e interdisciplinaridade”, *Ciência & Educação (Bauru)*, vol. 27, 2021, doi: 10.1590/1516-731320210033.

[11] T. R. G. Hilário, “A discussão de controvérsias sociocientíficas na formação de professores”, Mestrado em educação, Universidade de Lisboa, 2009.

[12] D. A. Magalhães, “Aquecimento global: Uma abordagem para o ensino de física”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 36, nº 4, p. 4502–4509, 2014, [Online]. Disponível em: www.sbfisica.org.br

[13] V. F. de Melo e R. D. Vieira, “Uma proposta de critérios avaliativos para atividades de Júri Simulado no Ensino de Ciências”, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 39, nº 2, p. 298–326, ago. 2022, doi: 10.5007/2175-7941.2022.e81050.

[14] L. Jorge e L. O. Q. Peduzzi, “A exemplificação da não neutralidade da observação científica por meio dos desenhos lunares retratados no século XVII”, *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, vol. 11, nº 2, p. 179–200, 2018.

[15] S. Luiz, B. Boss, e J. J. Caluzi, “Os conceitos de eletricidade vítrea e eletricidade resinosa segundo Du Fay”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 29, nº 4, p. 635–644, 2007, [Online]. Disponível em: www.sbfisica.org.br

[16] D. Cardoso, A. Noronha, G. Watanabe, e I. Gurgel, “Texto Jornalístico sobre Ciência: Uma Análise do Discurso sobre a Natureza da Ciência”, *ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 8, nº 3, p. 229–251, 2015, doi: <http://dx.doi.org/10.5007/1982-5153.2015v8n3p229>.

[17] C. A. dos Santos e L. L. da Silva, “A história que o filme Radioactive não conta e a percepção de alunos de licenciatura em física”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 43, p. 1–18, 2021, doi: 10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0037.

[18] W. Gomes Schmiedeck e P. A. Porto, “A história da ciência e a divulgação científica na TV: subsídios teóricos para uma abordagem crítica dessa aproximação no ensino de

ciências”, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, vol. 15, nº 3, 2015.

[19] A. Bagdonas, J. Zanetic, e I. Gurgel, “Quem descobriu a expansão do universo? Disputas de prioridade como forma de ensinar cosmologia com uso da história e filosofia da ciência”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 39, nº 2, jan. 2017, doi: 10.1590/1806-9126-rbef-2016-0257.

[20] N. H. Azevedo e D. L. Scarpa, “Revisão Sistemática de Trabalhos sobre Concepções de Natureza da Ciência no Ensino de Ciências”, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, p. 579–619, ago. 2017, doi: 10.28976/1984-2686rbpec2017172579.

[21] L. A. Heidemann, I. S. Araujo, e E. A. Veit, “Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica: Uma alternativa para a ressignificação das aulas de laboratório em cursos de graduação em física”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 38, nº 1, p. 1504–1515, 2016, doi: 10.1590/S1806-11173812080.

[22] V. C. Barbosa e A. M. S. Breitschaft, “Um aparato experimental para o estudo do princípio de Arquimedes”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 28, nº 1, p. 155–122, 2006.

[23] J. Nelson e J. B. Nelson, “Buoyancy Can-Can”, *Phys Teach*, vol. 53, nº 5, p. 281–281, maio 2015, doi: 10.1119/1.4917433.

[24] V. L. B. De Jesus, C. Marlasca, e A. Tenório, “Ludião versus princípio do submarino”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 29, nº 4, p. 599–603, 2007, [Online]. Disponível em: www.sbfisica.org.br

[25] C. Gianino, “A bizarre application of Archimedes’ law”, *Phys Educ*, vol. 42, nº 2, p. 185–188, mar. 2007, doi: 10.1088/0031-9120/42/2/009.

[26] C. da Cruz-Landim e M. A. da Cruz-Hofling, “Diferenças ultra-estruturais entre bexigas natatórias de peixes teleósteos de respiração aquática e respiração aérea facultativa”, *ACTA Amazônia*, vol. 9, nº 2, p. 317–323, 1979.

[27] D. A. A. Taniguchi, J. Rohr, S. Ridgway, e K. Schulz, “Two Beakers, Five E’s, Twenty Pennies, and Archimedes’ Principle”, *Phys Teach*, vol. 57, nº 3, p. 138–141, mar. 2019, doi: 10.1119/1.5092468.

[28] P. T. Vo, “Archimedes in Action”, *Phys Teach*, vol. 51, nº 8, p. 498–499, nov. 2013, doi: 10.1119/1.4824950.

[29] S. Fraiha, W. Paschoal, S. Perez, C. E. S. Tabosa, J. P. da S. Alves, e C. R. Silva, “Atividades investigativas e o desenvolvimento de habilidades e competências: um relato de experiência no curso de Física da Universidade Federal do Pará”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 40, nº 4, 2018, doi: 10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0052.

[30] A. V. Gomes, E. M. de S. Amaral, e R. J. Prado, “Determinação da densidade de líquidos imiscíveis pelo princípio de Stevin”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 41, nº 3, 2019, doi: 10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0313.

[31] J. P. Dishaw, “Battleship Buoyancy”, *Phys Teach*, vol. 48, nº 4, p. 242–242, abr. 2010, doi: 10.1119/1.3361992.

[32] W. J. González-Espada e B. S. Jones, “Betting on Better Buoyancy? Be Careful What You Wish For”, *Phys Teach*, vol. 58, nº 6, p. 413–415, set. 2020, doi: 10.1119/10.0001861.

- [33] S. W. Hughes, “Archimedes revisited: a faster, better, cheaper method of accurately measuring the volume of small objects”, *Physics Education*, vol. 40, n° 5, p. 468–474, 2005, [Online]. Disponível em: <http://iopscience.iop.org/0031-9120/40/5/008>
- [34] M. Nazareth e S. Montanheiro, “Demonstre em aula: Determinação da densidade de sólidos e líquidos pelo princípio de Arquimedes”, *Cad. Cat. Ens. Fís*, vol. 7, n° 2, p. 157–160, 1990, doi: <https://doi.org/10.5007/%25x>.
- [35] F. M. S. Lima, “Using surface integrals for checking Archimedes’ law of buoyancy”, *Eur J Phys*, vol. 33, n° 1, p. 101–113, jan. 2012, doi: [10.1088/0143-0807/33/1/009](https://doi.org/10.1088/0143-0807/33/1/009).
- [36] K. L. Goh, “Archimedes’ Principle Using Energy Considerations”, *Phys Teach*, vol. 56, n° 9, p. 616–617, dez. 2018, doi: [10.1119/1.5080579](https://doi.org/10.1119/1.5080579).
- [37] P. Mohazzab, “Archimedes’ Principle Revisited”, *Journal of Applied Mathematics and Physics*, vol. 05, n° 04, p. 836–843, 2017, doi: [10.4236/jamp.2017.54073](https://doi.org/10.4236/jamp.2017.54073).
- [38] R. E. Vermillion, “Derivations of Archimedes’ principle”, *Am J Phys*, vol. 59, n° 8, p. 761–762, ago. 1991, doi: [10.1119/1.16763](https://doi.org/10.1119/1.16763).
- [39] A. F. Chalmers, *O que é ciência afinal?* Brasiliense, 1993.
- [40] R. W. Fox, A. T. McDonald, e P. J. Pritchard, *Introdução à mecânica dos fluidos*, 7° ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- [41] K. R. Popper, *A Lógica da Pesquisa Científica*, 12° ed. São Paulo: Cultrix, 1934.
- [42] J. M. Hidalgo, D. de M. Queiroz, e M. C. J. de Oliveira, “A História da Ciência no PNLD 2018: o Princípio de Arquimedes como estudo de caso”, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 38, n° 2, p. 1251–1281, set. 2021, doi: [10.5007/2175-7941.2021.e76199](https://doi.org/10.5007/2175-7941.2021.e76199).
- [43] A. K. T. Assis, “Sobre os corpos flutuantes, tradução comentada de um texto de Arquimedes”, *Revista da SBHC*, vol. 16, p. 69–80, 1996.
- [44] T. S. Kuhn, *A estrutura das revoluções Científicas*, 12° ed, vol. 12. São Paulo: Perspectiva, 2013.
- [45] M. A. Moreira, “Desafios no ensino da física”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 43, p. 1–8, 2021, doi: [10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451](https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451).